

Puutuhkalannoituksen kannattavuus eräissä ojitusalueenniköissä

The profitability of wood ash-fertilizing of drained peatland Scots pine stands

Risto Lauhanen, Mikko Moilanen, Klaus Silfverberg, Heikki Takamaa & Jorma Issakainen

Risto Lauhanen, The Finnish Forest Research Institute, Kannus Research Station, FIN-69100 Kannus, Finland (e-mail risto.lauhanen@metla.fi)

Mikko Moilanen & Jorma Issakainen, The Finnish Forest Research Institute, Muhos Research Station, FIN-91500 Muhos, Finland

Klaus Silfverberg & Heikki Takamaa, The Finnish Forest Research Institute, Vantaa Research Centre, FIN-01300 Vantaa, Finland

The profitability of wood ash-fertilizing (5–16 t ha⁻¹) of four drained peatland Scots pine stands in central Finland was investigated. The profitability of forest drainage alone and forest drainage plus ash-fertilization was compared. After 44–56 years, the wood ash-fertilization had increased mean productivity by 3.1–12.1 m³ ha⁻¹a⁻¹. Using an interest rate of 3% and without subsidies, the net present value of the stands was 2 500–20 300 FIM ha⁻¹ higher as a result of the ash-fertilization than the value given by forest drainage alone. The real internal rate of return due to ash-fertilization without subsidies was 3.7–9.3%. The interest rate, the fertilization dose and related costs, and the stumpage prices affected profitability. The state forest improvement subsidies further increased the profitability of ash-fertilization.

Key words: forest fertilization, internal rate of return, net present value, Scots pine, stem volume, wood ash

JOHDANTO

Suomessa syntyy vuosittain runsaasti teollisuuden ja energialaitosten tuottamaa puu- ja turvetuhkaa. Pelkästään puuta käyttävän teollisuuden tuottama, laadultaan vaihteleva puutuhkamäärä on yli 200 000 tonnia vuositasolla (Wihersaari 1996). Jos tuhka viedään kaatopaikalle, se on pois luonnon kiertokulusta.

Tuhka on oiva maanparannusaine etenkin ojitetuilla soilla sekä metsitetyillä turvepelloilla.

Tuhka vähentää maan happamuutta sekä kompensoi puunkorjuun mukana pois kulkeutuneita ravinteita (mm. Hakkila & Kalaja 1983, Silfverberg 1996). Puutuhka on ravinnesisällöltään huomattavasti parempaa kuin turvetuhka (Silfverberg 1988, 1994). Tuhkan lannoitusvaikutus riippuu myös kasvualustan viljavuudesta ja kuivatuksesta. Puuston kasvureaktio on sitä suurempi, mitä enemmän turpeessa on tyyppiä (Silfverberg & Huikari 1985).

Metsitetyillä keskisuomalaisella suopellolla puun kuorituhkalannoitus (20 t ha⁻¹) tuotti 13 vuo-

deessa noin 55 kuutiometriä enemmän mäntypuuta hehtaarille kuin lannoittamaton vertailu (Ferm ym. 1992). Silfverbergin ja Huikarin (1985) mukaan mäntyvaltaisissa puustoissa puutuhkalannoitus 5–6 t ha⁻¹ tuotti kasvunlisäksi keskimäärin 3 m³ ha⁻¹a⁻¹. Vielä 30–40 vuoden kuluttua lannoituksesta tilavuuskasvu oli parhaimmillaan muutamilla kohteilla 12–17 m³ ha⁻¹a⁻¹. Puuston tilavuus puolestaan oli 41–171 m³ ha⁻¹, kun se ennen lannoitusta oli ollut 0–28 m³ ha⁻¹ (Silfverberg & Huikari 1985, Silfverberg 1996). Edellä mainituissa tutkimuksissa on lannoitteena käytetty poikkeuksetta pölymäistä irtotuhkaa.

Kuivan irtotuhkan levityksessä on ollut teknisiä ja työhygienisiä ongelmia (Hakkila & Kalaja 1983, Hakkila 1986, 1996). Toisaalla Keski-Pohjanmaalla turkistalouden jätteistä on tullut ympäristö- ja varastointiongelma. Tuhkan ja biojäteliikkeen yhdistäminen rakeiksi tarjoaisi vaihtoehdon kummankin jätteen hyödyntämiseen (Takalo 1980a, b, S. Takalo unpubl., Ferm & Takalo 1981, Veijalainen ym. 1993). Rakeistetun tuhkan käytön yhtenä ongelmana on kuitenkin tähän asti ollut sen kalleus perinteisiin lannoitusvaihtoehtoihin verrattuna. Viime vuosina suurin kiinnostus tuhkaan ja sen rakeistukseen on ollut Ruotsissa, jossa on tutkittu muun muassa tuhkalannoituksen logistiikkaa tuhkan tuotantopaikalta metsään asti (PalMBERGER ym. 1994, Jakobsson & Ring 1995). Sittemmin myös suomalaiset metsänomistajat ja tuhkan tuottajat ovat uudestaan kiinnostuneet rakeistetusta tuhkalannoitteesta ekologisten ja ympäristönsuojelullisten näkökohtien takia (Kostiainen 1996). Tätä taustaa vasten käytännön metsätalous tarvitsee tietoa tuhkalannoituksen kannattavuudesta.

Tuhkalannoituksen kannattavuutta ei ole maassamme paljoa tutkittu. Eräällä Muhoksen kohteella puutuhkalannoitus (3 t ha⁻¹) tuotti 34 vuodessa sijoitetulle pääomalle 7 prosentin koron (Silfverberg 1991). Silfverbergin ja Issakaisen (1996) mukaan tuhkalannoitus (5–6 t ha⁻¹) tuotti 40 vuodessa 9 200 mk ha⁻¹ enemmän kuin lannoittamaton vertailuvaihtoehto eräällä Oulun lähellä sijaitsevalla lyhytkorsinevalla. Lauhasen (1996) laskelmien perusteella tuhkalannoitus kannatti vielä 4 prosentin tuottovaatimuksella 10–40 vuoden aikana, jos puuston vuotuinen kasvunlisä oli 4 m³ha⁻¹.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää pitkäaikaisten kenttäkokeiden avulla puutuhkalannoituksen aiheuttamaa kasvunlisää ja kannattavuutta ojitetuilla turvemilla.

AINEISTO JA MENETELMÄT

Koalueet

Tutkimusaineisto koostui Metsäntutkimuslaitoksen hallinnassa olevista pitkäaikaisista kenttäkohteista Vilppulassa (62°04'N, 24°34'E) ja Muhoksella (64°51'N, 26°04'E) (Taulukko 1, Silfverberg & Huikari 1985, Silfverberg & Hotanen 1989, Mikkilä & Takamaa 1995, Silfverberg 1996).

Vilppulan koe XII oli ojitettu vuosina 1909, 1915 ja 1923. Kokeen sarkaleveys oli 19 m ja yksittäisen koeruudun pinta-ala 0,65 hehtaaria. Männyn hajakylvö tehtiin vuonna 1916. Suopururämeeksi tyypitetty suo tuhkalannoitettiin (0 ja 5 t ha⁻¹) vuonna 1937, jolloin alue oli erittäin hyväkasvuista, 3–5 metrin pituista mäntytaimikkoa

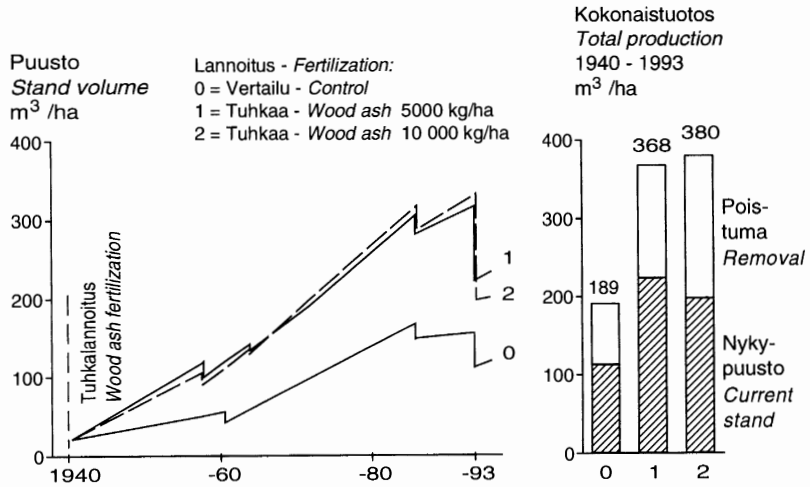
Taulukko 1. Tuhkalannoituskokeiden perustiedot lannoitushetkellä (1937–1947).

Table 1. Description of the permanent field experiments at the time of ash-fertilization treatment (1937–1947).

Koe <i>Experiment</i>	Perustamisvuosi <i>Established</i>	Suotyyppi ^a <i>Mire type^a</i>	Turvekerros <i>Peat layer</i>	Sarkaleveys <i>Ditch spacing</i>	Puuston ikä <i>Stand age</i>	Puuston tilavuus <i>Stand volume</i>
		m	m	a	m ³ ha ⁻¹	
Vilppula XII	1937	IR	2,2	19	21	15
Vilppula XIII	1937	TR	1,2	19	59	15
Vilppula XX	1949	TR	2,2	19	44	< 5
Leppiniemi	1947	MeKaN	0,7–1,5 +	60	< 10	< 5

^a Suotyyppien selitykset: IR = isovarpuräme, TR = tupasvillaräme, MeKaN = mesotrofinen kalvakkaneva.

^a *Mire types*: IR = dwarf-shrub pine bog, TR = cottongrass pine bog, MeKaN = mesotrophic S. papillosum fen.



Kuva 1. Vuoden 1937 tuhkalannoituksen vaikutus puuston tilavuuteen Vilppulan XIII-kokeella. Mukana luonnonpoistuma.

Fig. 1. The effect of ash-fertilization (1937) on stand volume (growing stock) at the Vilppula XIII experiment. Including natural removal.

(Taulukko 1). Koe oli harvennettu neljästi vuosina 1953–1992 (Taulukko 2). Vuonna 1993 puustoa oli 92 m³ ha⁻¹ lannoittamattomalla kokeen osalla. Puuston runkoluku oli 415 kpl ha⁻¹ ja keskiläpimitta 19 cm. Tuhkalannoitetulla kokeen osalla puustoa oli 177 m³ ha⁻¹ runkoluvun ollessa 538 kpl ha⁻¹ ja keskiläpimitan 22 cm.

Vilppulan koe XIII oli ojitettu vuosina 1909, 1923 ja 1935. Koeruudun pinta-ala oli 0,1 hehtaaria. Isovarpuiseksi tupasvillarämeeksi tyypitetty suo tuhkalannoitettiin (0, 5 ja 10 t ha⁻¹) vuonna

1937, jolloin alue oli lievästi oksaista kasvuisaa mäntymetsää (Taulukko 1). Koe harvennettiin vuosina 1957, 1984 ja 1993 (Taulukko 2). Vuonna 1993 puustoa oli lannoittamattomalla kokeen osalla 120 m³ ha⁻¹ (Kuva 1) runkoluvun ollessa 533 kpl ha⁻¹ ja männyn keskiläpimitan 21 cm. Tuhkamäärällä 5 t ha⁻¹ puustoa oli 246 m³ ha⁻¹, ja sen runkoluku oli 555 kpl ha⁻¹ männyn keskiläpimitan ollessa 27 cm. Tuhkamäärällä 10 t ha⁻¹ puuston tilavuus oli 213 m³ ha⁻¹, runkoluku 389 kpl ha⁻¹ ja männyn keskiläpimitta 31 cm.

Taulukko 2. Tutkimuksen puustotiedot ja vuotuiset hakkuukertymät kokeittain.

Table 2. Tree stand characteristics and annual removals in thinning cuttings given by the experiment and treatment.

	Tuhkaa Ash t ha ⁻¹	Tilavuus Stand volume m ³ ha ⁻¹	Tilavuuskasvu Volume growth m ³ ha ⁻¹ a ⁻¹	Hakkuupoistumat ^a Thinning removals m ³ ha ⁻¹	Tukkipuuta Saw timber m ³ ha ⁻¹
Vilppula XII (mitattu – measured 1993)				(1953, 1957, 1984, 1992)	
	0	92	3,2	11, 3, 57, 41	0, 0, 3, 14
	5	177	7,8	44, 8, 68, 81	0, 0, 18, 30
Vilppula XIII (mitattu – measured 1993)				(1957, 1984, 1993)	
	0	120	2,2	9, 14, 46	0, 1, 6
	5	246	3,9	20, 23, 73	0, 9, 38
	10	213	5,1	16, 29, 119	1, 11, 60
Vilppula XX D (mitattu – measured 1992)				(1983, 1992)	
	8	69	4,9	25, 48	0, 2
Leppiniemi (mitattu – measured 1994)				(1975, 1983, 1988)	
	0	26	1,2	1, 0, 0	0, 0, 0
	8	162	6,9	90, 45, 65	0, 6, 10
	16	360	10,9	90, 70, 75	0, 13, 27

^a Harvennusvuodet annettu suluisissa. – Treatment years given in parentheses.

Vilppulan koe XX (koeruudun pinta-ala 0,1 hehtaaria) oli ojitettu vuosina 1909, 1915 ja 1953. Isovarpuisen tupasvillärämeen koeala D lannoitettiin tuhalla (8 t ha^{-1}) vuonna 1949, jolloin luontaisesti syntynyt, toisen puusukupolven männikkö aloitti kasvuaan (Taulukko 1). Kokeelta puuttui lannoittamaton vertailukoela. Koe harvennettiin vuosina 1983 ja 1992 (Taulukko 2). Vuonna 1992 puuston tilavuus oli $69 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, runkoluku 656 kpl ha^{-1} ja keskiläpimitta 15,0 cm.

Muhoksen Leppiniemen koe oli ojitettu vuonna 1933. Kokeen sarkaleveys oli 60 m ja yksittäisen koeruudun pinta-ala 0,2 hehtaaria (Taulukko 1). Epäonnistuneen metsänviljelyn jälkeen mesotrofiselle kalvakkanevalle levitettiin vuonna 1947 koivuhalon tuhkaa. Lannoittamattoman vertailukoelan viereen annettiin tuhkaa yhdelle koelalle 8 t ha^{-1} ja toiselle koelalle 16 t ha^{-1} . Koe oli harvennettu vuosina 1975, 1983 ja 1988 (Taulukko 2). Vuonna 1994 lannoittamattomalla vertailuruudulla puustoa oli $26 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, jolloin puuston runkoluku oli $1\,610 \text{ kpl ha}^{-1}$ ja keskiläpimitta 9 cm. Tuhkamäärällä 8 t ha^{-1} puustoa oli $162 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, runkoluku oli 830 kpl ha^{-1} ja keskiläpimitta 19 cm. Tuhkamäärällä 16 t ha^{-1} puuston tilavuus oli puolestaan $236 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, runkoluku 840 kpl ha^{-1} ja keskiläpimitta 21 cm.

Laskelmissa käytetyt kustannukset

Tuhkalannoituksen kokonaiskustannukset muodostuvat tuhkanjalostus-, suunnittelu- ja työnjohdokustannuksista, lähi- ja kaukokuljetuskustan-

nuksista sekä levityskustannuksista (Keipi 1972, Palmberger ym. 1994, S. Takalo unpubl.). Itse tuhka on ollut käyttäjille ilmaista (Palmberger ym. 1994). Varsinaiset kustannukset tuhkan käyttäjille aiheutuvat tuhkan käsittelystä, kuljetuksesta ja maastolevityksestä. Ruotsissa tuotantopaikalta metsään toimitettu, rakeistettu tuhkatonni maksoi traktorilla levitettynä noin 400 mk (Palmberger ym. 1994). Kun suosittelava levitysmäärä on 5–6 t tuhkaa hehtaarille (Silfverberg & Huikari 1985, Palmberger ym. 1994), maksoi tuhkalannoitus tällöin noin $2\,000 \text{ mk ha}^{-1}$ (Lauhanen 1996, Taulukko 3). Kostiainen (1996) on laskenut rakeistetun tuhkan (3 t ha^{-1}) hehtaarikustannuksiksi Pohjois-Karjalassa noin 1 000 mk. S. Takalon (unpubl.) arvion mukaan tuhkan käsittelytekniikan kehityksessä ja käyttömäärien kasvaessa rakeistus, kuljetus ja maastolevitys tulisivat maksamaan Suomen olosuhteissa noin 200 mk t^{-1} , jolloin tuhkalannoituksen kustannukseksi (5 t ha^{-1}) muodostuisi $1\,000 \text{ mk ha}^{-1}$ (Taulukko 3).

Tämän tutkimuksen kannattavuuslaskelmissa lannoituslaksi oletettiin yksi hehtaari. Käytännössä lannoitusalan kasvaessa työn yksikkökustannukset (mk ha^{-1}) alenevat. Töiden suunnittelu oletettiin metsänomistajalle ilmaiseksi. Työnjohdon oletettiin jäävän metsänomistajan vastuulle, jolloin ulkopuoliselle maksettavia työnjohdokustannuksia ei aiheutunut. Käytännössä suunnittelu- ja työnjohdokustannukset ovat laskelmissa yhtä suuret, jolloin ne eivät aiheuta kannattavuuseroja eri vaihtoehtojen välillä.

Koska tuhkalannoitus lisää nevoilla tai turvepelloilla lehtipuuston määrää, otettiin taimikon-

Taulukko 3. Tuhkalannoituksen kannattavuuden laskentakehikko. Tulot = Hakkuukertymät ja loppupuuston hakkuuarvo (katso Taulukko 2).

Table 3. Basis for calculation of profitability. Income = Removal of thinning cuttings and the value of growing stock (see Table 2).

Menot – Cost

Tuhkalannoitus, mk t^{-1} – Ash-fertilization, FIM t^{-1}	200, 500
Taimikonhoito, mk ha^{-1} – Plantation management, FIM ha^{-1}	0, 892
Metsänparannustuki, % – Forest improvement subsidy, %	0, 30, 50
Laskentakorko, % – Interest rate, %	1, 3, 5
Laskentajakso, v – Calculation period, yr	44–56

Tulot – Income

Tukkipuun hinta, mk m^{-3} – Price of saw timber, FIM m^{-3}	200
Kuitupuun hinta, mk m^{-3} – Price of pulp wood, FIM m^{-3}	100
Hintamuutosoletus, % – Assumed stumpage price changes, %	– 20, + 20

hoito vaihtoehtolaskelmiin mukaan. Taimikonhoidon oletettiin maksavan keskimäärin 892 mk ha⁻¹ 7 vuotta tuhkalannoituksen jälkeen (Taulukko 3, Sevola 1996).

Laskelmissa käytetyt puustotiedot, hintaole- tukset ja tuotot

Kunkin kokeen puustonmittaustiedoista saatiin lannoittamattoman vertailuvaihtoehdon sekä kunkin tuhkalannoitusvaihtoehdon kokonaistuotokset. Kokonaistuotokseen (m³ ha⁻¹) sisällytettiin tutkimusjakson hakkuukertymät sekä puuston tilavuus laskentajakson lopussa (Taulukko 2). Kun kokonaistuotos jaettiin investointiajalla, saatiin tuhkalannoituksen ja ojituksen aiheuttama keskimääräinen vuotuinen kasvunlisä.

Hakkuukertymistä hukkapuuta oletettiin olevan 5% (0 mk m³) (Hakkila 1992). Hakkuukertymien tukkipuuosuudet saatiin kenttäkoemittauksista ja Nyyssösen taulukosta (Päivinen 1991). Vilppulan kokeen XII tuhkakäsittelyruudulla koivun osuus oli viimeisimmässä hakkuukertymässä 25 m³ ha⁻¹. Kokeella XIII koivua ei ole hakattu, mutta sitä oli loppupuustossa 7–22 m³ ha⁻¹. Sekä Vilppulan XX (koeruutu D) että Muhoksen Leppiniemen kokeet olivat puhtaita mäntypuustoja. Hakkuukertymissä tukkipuun hinnaksi oletettiin 200 mk m⁻³ ja kuitupuun hinnaksi 100 mk m⁻³ (Taulukko 3). Puutavaran laadun hinnoittelua ei metsänlannoituksia koskevissa kannattavuuslaskelmissa ole otettu huomioon (Keipi 1972). Tässäkin tutkimuksessa tukkien laatuluokittelua ja -hinnoittelua ei voitu ottaa laskelmissa huomioon, koska kyseisiä tietoja ei ollut käytettävissä.

Kannattavuuslaskelmat

Kannattavuuslaskelmissa haluttiin selvittää pitkäaikaisten kenttäkokeiden avulla, kannattaako tuhkalannoitus pelkkään ojitusvaihtoehtoon verrattuna tietyllä päätöksentekohetkellä ja tietyillä puutavaran hintaodotuksilla, tuhkamäärillä sekä tuhkalannoitus- ja metsänhoitokustannuksilla. Kokeittaiset tuhkalannoituksen ja ojituksen kannattavuuserot määritettiin eri toimenpidevaihtoehtojen nettotuottojen nykyarvojen avulla sekä sisäisen korkokannan menetelmällä (mm. Keipi 1972,

Holopainen 1976, Hämäläinen & Laakkonen 1983, Rantala & Moilanen 1993) seuraavasti:

$$NPV = \sum_{i=0}^t B_i \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right)^{-i} - \sum_{i=0}^t C_i \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right)^{-i} \quad (1)$$

missä NPV = nettotuottojen nykyarvo tuhkalannoitushetkellä (mk ha⁻¹), $\sum B_i$ = eri vuosina (t) toteutuneiden harvennustuottojen ja loppupuuston hakkuuarvon summa (mk ha⁻¹), p = laskentakorko (%). $\sum C_i$ = eri vuosina toteutuneiden tuhkalannoitus- ja taimikonhoitokustannusten summa (mk ha⁻¹).

Nykyarvomenetelmässä verrataan tuhkalannoitushetkeen diskontattujen tuottojen ja kustannusten erotusta. Jos tuotot ovat kustannuksia suuremmat, on investointi kannattava vaihtoehto. Eri vaihtoehtojen nykyarvoja vertaamalla voidaan tarkastella vaihtoehtojen välistä kannattavuutta.

Sisäisen koron laskentamenetelmässä puolestaan määritetään kaavasta 1 kokeilemalla se reaalkorkokanta p, jolla vertailuajankohtaan diskontattujen tuottojen ja kustannusten summat ovat yhtä suuret (eli nykyarvo = 0). Menetelmä tuottaa sisäiselle korolle likiarvon.

Tutkimuksen laskentajakso ulottui lannoitushetkestä viimeisimpään puustonmittausajankohtaan. Harvennushakkuiden tuotot ja laskentajakson lopussa olevat puuston arvot diskontattiin 1, 3 ja 5 prosentin laskentakoroilla lannoitushetkeen. Tuotoista vähennettiin lannoitushetkeen diskontatut tuhkalannoitus- ja taimikonhoitokustannukset.

Laskelmat tehtiin ensin omarahoitteisina investointeina. Laskelmissa otettiin huomioon myös metsänparannustuki (30%), jota yksityismetsänomistaja voi valtiolta saada lannoitusinvestointeihin. Sisäisiä korkoja vertaamalla tehtiin myös herkkyyssanalyysseja, joiden perusteella tarkasteltiin yksittäisten tekijöiden, kuten raakaapuun hintamuutosten (20%) ja metsänparannustuen (50%) vaikutusta tuhkalannoituksen kannattavuuteen (Taulukko 3). Laskelmat tehtiin ilman arvonlisäveroa, koska arvonlisävero on metsänomistajalle yleensä vähennyskelpoinen erä.

TULOKSET

Vilppulan kokeella XII tuhkalannoituksella aikaan saatu kasvunlisä oli 3,1 m³ ha⁻¹a⁻¹ pelkkään ojitusvaihtoehtoon verrattuna. Omarahoitteinen tuhkalannoitus oli lannoittamatonta ojitusvaihtoehtoa

2 200 mk ha⁻¹ kannattavampi, kun lannoituskustannus oli 1 000 mk ha⁻¹ (200 mk t⁻¹) ja laskentakorko 5 prosenttia (Taulukko 4). Jos lannoituskustannus oli 2 500 mk ha⁻¹ (500 mk t⁻¹) oli kannattavuus 700 mk ha⁻¹ tuhkalannoituksen hyväksi. Omarahoitteen tuhkalannoituksen sisäinen korko oli 9,3%, kun tuhkalannoitus maksoi 200 mk t⁻¹. Lannoituskustannuksen ollessa 500 mk t⁻¹ sisäinen korko oli 5,7% (Taulukko 5). Metsänparannustuki (30%) nosti investoinnin sisäistä korkoa 1,9 prosenttiyksikköä, kun lannoituskustannus oli 200 mk t⁻¹.

Vilppulan kokeella XIII tuhkamäärän 5 t ha⁻¹ aiheuttama kasvunlisä oli 3,1 m³ ha⁻¹ a⁻¹. Tuhkalannoitus (5 t ha⁻¹) osoittautui 5 prosentin laskentakorolla 1 700 mk pelkkää ojitusta kannattavamaksi, jos tuhkatonni hinta oli 200 mk. Jos tuhkatonni maksoi 500 mk, oli tuhkalannoitus enää 200 mk ha⁻¹ ojitusta kannattavampi (Taulukko 4, Kuva 2).

Vilppulan kokeella XIII tuhkamäärän 10 t ha⁻¹ tuottama kasvunlisä oli 3,4 m³ ha⁻¹ a⁻¹. Tuhkamäärällä 10 t ha⁻¹ kannattavuus oli huonompi kuin tuhkamäärällä 5 t ha⁻¹, jos laskentakorko oli 3 tai

5 prosenttia. Jos tuhkamäärä oli 10 t ha⁻¹, ja jos tuhkatonni maksoi 500 mk, ei lannoitus kannattanut pelkkään ojitukseen verrattuna 5 prosentin laskentakorolla (- 2 200 mk ha⁻¹). Omarahoitteen investoinnin sisäinen korko oli 7,2 prosenttia tuhkamäärällä 5 t ha⁻¹ (200 mk t⁻¹) ja 5,6 prosenttia tuhkamäärällä 10 t ha⁻¹ (200 mk t⁻¹) (Taulukko 5). Kustannusten kasvu (300 mk t⁻¹) alensi omarahoitteen investoinnin sisäisiä korkoja noin 2 prosenttiyksikköä kummallakin tuhkamäärällä. Edelleen kummallakin tuhkamäärällä metsänparannustuki (30%) nosti investoinnin sisäistä korkoa 0,8 prosenttiyksikköä, kun lannoituskustannus oli 200 mk t⁻¹.

Vilppulan kokeelta XX (koeruutu D, tuhkaa 8 t ha⁻¹) puuttui pelkkä ojitusvaihtoehto, eikä tuhkalannoituksen tuottamaa kasvunlisää ja erilliskannattavuutta voitu laskea. Omarahoitteen tuhka- ja ojitusinvestoinnin nykyarvo oli 300 mk ha⁻¹ 5 prosentin laskentakorolla, kun tuhkatonni maksoi 200 mk. Saman investoinnin sisäinen korko oli 5,5 prosenttia, kun lannoituskustannus oli 200 mk t⁻¹ eli 1 600 mk ha⁻¹ (Taulukko 5). Jos tuhkatonni maksoi 500 mk, omarahoitteen investointi ei olisi kannattanut enää 5 prosentin laskentakorolla.

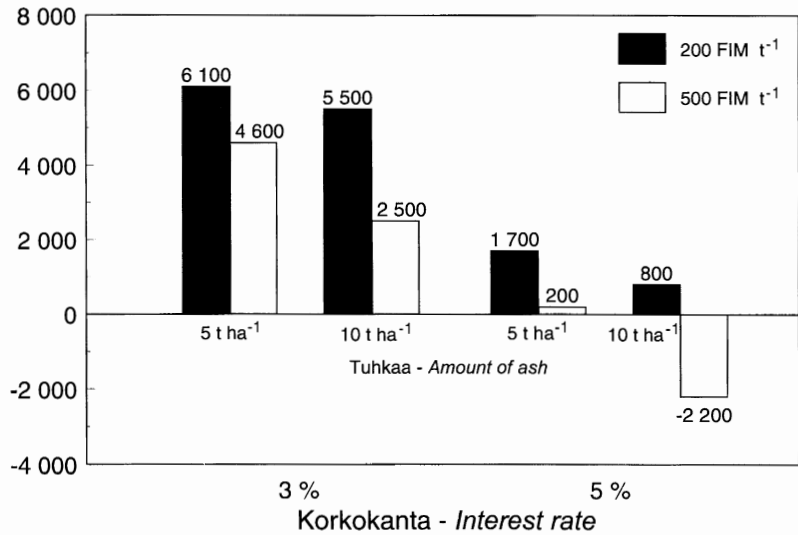
Taulukko 4. Tuhkalannoituksen erilliskannattavuus eri kustannus- ja korkotasolla (mk ha⁻¹). Selitykset: vaihtoehto a = omarahoitteen tuhkalannoitus, b = 30 prosentin metsänparannusavustus. Taimikonhoitokustannukset eivät ole laskelmissa mukana.

Table 4. The profitability of ash-fertilization (FIM ha⁻¹) at different costs and interest rates. Legend: a = fertilization without subsidies, b = fertilization with forest improvement subsidy of 30%. Plantation management costs excluded in the calculations.

Koe Experiment	Tuhkaa Ash, t ha ⁻¹	Lannoituskustannus, mk ha ⁻¹ Fertilization cost, FIM ha ⁻¹	Laskentakorko – Interest rate					
			a			b		
			1%	3%	5%	1%	3%	5%
Vilppula XII	5	1 000	15 500	5 800	2 200	15 800	6 100	2 500
	5	2 500	14 000	4 300	700	14 800	5 100	1 500
Vilppula XIII	5	1 000	19 200	6 100	1 700	19 500	6 400	2 000
	5	2 500	17 700	4 600	200	18 500	5 400	1 000
	10	2 000	19 600	5 500	800	20 200	6 100	1 400
	10	5 000	16 600	2 500	- 2 200	18 100	4 000	- 700
Leppiniemi	8	1 600	26 300	11 200	4 500	26 800	11 700	5 000
	8	4 000	23 900	8 800	2 100	25 100	10 000	3 300
	16	3 200	50 700	20 300	7 400	51 600	21 200	8 300
	16	8 000	45 900	15 500	2 600	48 300	17 900	5 000
Vilppula XX D ^a	8	1 600	8 000	2 700	300	8 500	3 100	800
	8	4 000	5 600	300	- 2 000	6 800	1 500	- 800

^a Vilppulan kokeen XX (ruutu D) esitetty ojituksen ja tuhkalannoituksen nettotulojen nykyarvot. – Vilppula XX plot D only includes the net present values of ditching plus ash-fertilization.

Kannattavuus -
Profitability, FIM ha⁻¹



Kuva 2. Omarahoitteisen tuhkalannoituksen kannattavuus (mk ha⁻¹) Vilppulan kokeella XIII eri laskentakorkokannoilla (3%, 5%) ja kustannuksilla (tuhkatonni 200 mk ja 500 mk). Investointijakso 56 vuotta.

Fig. 2. The profitability (FIM ha⁻¹) of ash-fertilization without subsidies at the Vilppula XIII experiment for varying interest rates (3%, 5%) and costs (ton of ash costing 200 FIM or 500 FIM). Calculation period = 56 years.

Muhoksen Leppiniemen kokeella tuhkamäärä 8 t ha⁻¹ tuotti kasvunlisää 7,1 m³ ha⁻¹ a⁻¹, kun tuhkamäärän 16 t ha⁻¹ kasvunlisä oli 12,1 m³ ha⁻¹ a⁻¹. Omarahoitteinen investointi (8 t ha⁻¹, 200 mk t⁻¹) oli 5 prosentin laskentakorolla 4 500 mk ha⁻¹ lan-

noittamatonta vaihtoehtoa kannattavampi (Taulukko 4). Kun tuhkaa levitettiin 16 t ha⁻¹ (200 mk t⁻¹), omaraohitteinen investointi oli 7 400 mk ha⁻¹ lannoittamatonta vaihtoehtoa kannattavampi. Jos tuhkatonni maksoi 200 mk, investoinnin sisäiset korot

Taulukko 5. Tuhkalannoitusinvestoinnin sisäiset korot. Selitykset: vaihtoehto a = omaraohitteinen tuhkalannoitus, b = a + metsänparannusavustus 30%, c = omaraohitteinen tuhkalannoitus ja taimikonhoito (892 mk ha⁻¹), d = c + metsänparannusavustus 30%.

Table 5. The real internal rates (%) of return by experiments and treatments. Legend: a = ash-fertilization without subsidies, b = ash-fertilization with forest improvement subsidy of 30%, c = ash-fertilization and plantation management (892 FIM ha⁻¹) without subsidy of 30%, and d = ash-fertilization and plantation management with 30% subsidy.

Koe Experiment	Tuhkaa Ash, t ha ⁻¹	Lannoituskustannus, mk ha ⁻¹ Fertilization cost, FIM ha ⁻¹	Toimenpide - Treatment			
			a	b	c	d
Vilppula XII	5	1 000	9,3	11,2	7,5	9,2
	5	2 500	5,7	7,0	5,0	6,2
Vilppula XIII	5	1 000	7,2	8,0	6,1	7,0
	5	2 500	5,1	5,9	4,6	5,4
	10	2 000	5,6	6,4	5,0	5,8
	10	5 000	3,7	4,5	3,5	4,2
Leppiniemi	8	1 600	8,9	10,0	8,0	9,2
	8	4 000	6,1	7,2	5,7	6,8
	16	3 200	8,1	9,1	7,7	8,7
	16	8 000	5,7	6,6	5,5	6,4
Vilppula XX D ^a	8	1 600	5,5	6,4	4,6	5,6
	8	4 000	3,1	4,0	2,7	3,6

^a Vilppulan kokeen XX ruutu D sisältää ojituksen ja tuhkalannoituksen tuotot. - Vilppula XX plot D only includes the benefits of ditching plus ash-fertilization.

olivat tuhkamäärällä 8 t ha⁻¹ 0,3–0,9 prosenttiyksikköä suuremmat kuin tuhkamäärällä 16 t ha⁻¹ (Taulukko 5). Muhoksella 30 prosentin metsänparannustuki nosti investoinnin sisäisiä korkoja 0,9–1,1 prosenttiyksikköä kustannuksista riippuen.

TARKASTELU

Aikaisemmat tuhkatutkimukset ovat keskittyneet puuston kasvuun ja ravinnetalouteen (mm. Silfverberg & Huikari 1985, Silfverberg 1996) tai tuhkan käsittelyyn ja levitystekniikkaan (mm. Hakki 1996). Aikaisempaan tutkimusperinteeseen verrattuna tämä tutkimus tuottaa tuhkalannoituksen kannattavuusesimerkkejä metsikkötasolla ja yksityismetsänomistajan näkökulmasta.

Tuhkan lannoitusvaikutus riippuu tuhkan laadusta ja annostuksesta. Puutuhkan koostumus ei ole nyt tutkittujen kokeiden osalta täysin selvillä. Myös kohteen ravinteisuustaso ja lähtöpuusto vaikuttavat lannoitusreaktioon (Silfverberg & Huikari 1985, Silfverberg 1996). Vilppulan XII ja XIII kokeilla lähtöpuustoa oli keskimäärin 15 m³ ha⁻¹, kun sitä Leppiniemessä oli 4 m³ ha⁻¹ (Silfverberg & Hotanen 1989, Mikkilä & Takamaa 1995).

Tuhkalannoituksen aiheuttama puuston lisäkasvu on tutkimuksen kokeilla selvästi nähtävissä. Laskelmissa oli mukana kuitenkin vain neljä koetta, mikä rajoittaa tulosten yleistämistä. Samoin toistojen puuttuminen on vanhojen kenttäkokeiden ongelma. Vertailumateriaalina voidaan kuitenkin käyttää koko maan kattavaa aineistoa (Silfverberg & Huikari 1985), jonka mukaan tuhkalannoitus 5–6 t ha⁻¹ sai 30–40 vuodessa aikaan kasvunlisää keskimäärin 3 m³ ha⁻¹ a⁻¹. Tämän tutkimuksen kasvunlisät olivat Vilppulan kokeilla XII ja XIII 3,1–3,4 m³ ha⁻¹ a⁻¹ 56 vuodessa. Sen sijaan Leppiniemen tuhkamäärät (8–16 t ha⁻¹) ja kasvunlisät (7,1–12,1 m³ ha⁻¹ a⁻¹) ylittivät em. valtakunnalliset keskiarvot 47 vuoden aikajaksolla. Tutkimuksen neljä koetta eivät kuitenkaan edusta Lounais-Suomen tai Itä- ja Pohjois-Suomen turvemaita. Lisäksi vanhat kenttäkokeet on perustettu useimmiten karuille, vähäpuustoisille rämeille ja nevoille (Silfverberg & Huikari 1985), kun nykyisin tuhkalannoitusta harkitaan useimmiten tehtäväksi hyväpuustoissa ojitusmetsissä tai kivennäismailloilla. Kasvuisissa metsissä tuhkalannoituksen

kasvureaktiot eivät tule olemaan yhtä voimakkaita, kuten Jacobsson ja Ring (1995) ovat todenneet kivennäismaiden varttuneiden kuusikoiden osalta.

Perinteisesti lannoituksen puustovaikutuksen arviointi lyhyen ajan kasvureaktioiden ja niistä johdettujen hakkuukertymien perusteella on ollut ongelmallista ja epävarmaa. Tämä on edelleen vaikeuttanut kannattavuuslaskelmia (Keipi 1972). Nuorissa metsiköissä tulevan kasvun ja hakkuukertymien yliarviot ovat mahdollisia (Rantala & Moilanen 1993). Tässä tutkimuksessa sovellettiin pitkän aikavälin, 44–56 vuoden aikajakson todellisia hakkuukertymiä ja tietyllä hetkellä vallitsevan puuston tilavuutta ja hakkuuarvoa. Tuloksia tarkastellessa on huomattava, että tuhkalannoitusinvestoinneista saadaan myös harvennustuottoja aina päätehakkuihin asti (ks. Keipi 1972, Holopainen 1976). Vilppulan kokeet XII ja XIII olivat viimeisimmällä mittaushetkellä uudistuskypsiä. Sen sijaan Vilppulan kokeella XX (koeruutu D) ja Leppiniemessä puuston kasvatus jatkuu vielä puuston iän puolesta, mutta päätehakkuuseen asti saatavan puuston tuotoksen arviointi on epävarmaa. Esimerkiksi Leppiniemen tuhkakäsittelyllä 8 t ha⁻¹ on havaittavissa kaliumipuustosta ja kasvun vähenemistä, mutta tuhkamäärällä 16 t ha⁻¹ kasvu näyttää jatkuvan hyvänä.

Tämän tutkimuksen kaikilla esimerkkikohteilla omarahoitteisena investointina tehty tuhkalannoitus kannatti pelkkään ojitusvaihtoehtoon verrattuna, kun laskentakorko oli 3 prosenttia ja lannoituskustannus 200–500 mk t⁻¹. Tällöin kannattavuusero tuhkalannoituksen hyväksi oli kokeesta riippuen 2 500–20 300 mk ha⁻¹ ja investoinnin sisäinen korko 3,7–9,3%.

Tuhkamäärän ja kustannusten kasvaessa toiminnan kannattavuus alkoi heikentyä sisäisten korkojen perusteella. Vilppulan kokeella XIII tuhkalannoituksen absoluuttinen kannattavuus (mk ha⁻¹) heikkeni 3–5 prosentin laskentakorolla ja samalla kustannustasolla, kun tuhkamäärä kasvoi 5 t ha⁻¹. Näin ollen Silfverbergin ja Huikarin (1985) esittämien tulosten sekä tämän tutkimuksen kannattavuuslaskelmien perusteella 5–6 t ha⁻¹ tuhkaa riittää kannattavan kasvunlisän aikaan saamiseksi Vilppulan kaltaisissa olosuhteissa. Mainituilla tuhkamäärillä lannoituskustannukset eivät kohoa liian suuriksi, eivätkä vaikutukset metsän ravinnetalouteen, pintakasvillisuuteen tai marjoihin ehkä ole niin voimakkaita kuin esimerkiksi

16 tonnin hehtaarikohtaisella tuhkamäärällä (ks. Silfverberg & Hotanen 1989, Silfverberg & Issakainen 1991, Silfverberg 1996).

Tämän tutkimuksen tulokset pätevät neljällä kokeella ja esitetyillä laskentaoletuksilla. Käytännön investointilaskelmat ovat aina tapauskohtaisia. Laskelmissa metsänomistajan korko- ja aikamieltyyksillä, metsänparannustuella sekä kantohintojen muutoksilla on keskeinen merkitys (Holopainen 1976, Hämäläinen & Laakkonen 1983, Rantala & Moilanen 1993, Kangas ym. 1996). Tässä tutkimuksessa kantohintojen muuttuessa 20 prosenttia omavaraisen investoinnin sisäinen korko muuttui 0,4–1,1 prosenttiyksikköä kohteesta riippuen. Tuhkan aiheuttaman lehtipuuston poistaminen taimikonhoitotyönä alensi lannoituksen kannattavuutta, mutta metsänparannustuki puolestaan paransi sitä. Metsänparannustuen kohotessa 30 prosentista 50 prosenttiin investoinnin sisäiset korot nousivat 0,7–1,9 prosenttiyksikköä, kun taimikonhoitovaihtoehto oli laskelmissa mukana.

Käytännön metsätaloutta kiinnostaa perinteisen turvemaiden kauppalannoitteiden ja tuhkalannoituksen välinen kannattavuusvertailu. Aarnion ym. (1997) mukaan niukatypin suomännikön peruslannoitus (kokonaiskustannus 600–1 550 mk ha⁻¹) NPK:lla tuotti 15 vuodessa Etelä-Suomessa 4–5%:n sisäisen koron. Samalla (Aarnion ym. 1997) kustannustasolla tämän tutkimuksen omarahoitteinen tuhkalannoitus tuotti niukatypisillä Vilppulan kokeilla 7,2–9,3%:n koron 56 vuodessa. Vastaavasti Oulun läänin korkeudella runsastypin suon NPK-lannoitus tuotti noin 10%:n sisäisen koron (Aarnio ym. 1997), kun omarahoitteinen tuhkalannoitus tuotti runsastypisessä Muhoksen Leppiniemessä 5,7–8,9%:n koron 47 vuodessa kauppalannoitusta kalliimmilla (Aarnio ym. 1997) kustannuksilla. Toisaalla varttuneissa ojitusmänniköissä omarahoitteisen NPK-lannoituksen tuotama sisäinen korko kahdeksassa vuodessa oli keskimäärin 4,0%, kun se PK-lannoituksella oli 12,0% (Hämäläinen & Laakkonen 1983). Rantalan ja Moilasan (1993) mukaan turvemaiden jatkolannoitukset tuottivat 6–7 prosentin sisäisiä korkoja 11 vuoden laskentajaksolla, ja 3 prosentin laskentakorolla lasketut investointien nykyarvot olivat maksimissaan 450 mk ha⁻¹.

Tässä tutkimuksessa mukana olleiden kokeiden puitteissa kannattavuusvertailu kauppalannoitteen ja tuhkan välillä ei ollut mahdollista. Voi-

daan kuitenkin varovasti arvioida, että jos perinteisen kauppalannoituksen vaikutus kestää rämeillä 15–25 vuotta ja tuhkalannoituksen vaikutus noin 40 vuotta, on tuhkalannoitus (5 t ha⁻¹) pitkällä aikavälillä perinteistä kauppalannoitusta kannattavampi vaihtoehto, jos keskimääräiset lannoituskustannukset ovat yhtä suuret eli noin 1 000 mk ha⁻¹ (Hämäläinen & Laakkonen 1983, Rantala & Moilanen 1993, Kostiainen 1996, Sevola 1996).

Rakeistetun tuhkan puustovaikutuksista ei ole toistaiseksi tuloksia, joten kuivan irtotuhkan lannoitusvaikutukset antavat taustan tarkastella asiaa. Rakeistettu tuhka on kannattava vaihtoehto, jos sen kasvuvaikutukset ovat samat kuin irtotuhkan, ja mikäli lannoituskustannukset säilyvät tämän tutkimuksen tasolla. Rakeistetun tuhkan on kuitenkin arvioitu vaikuttavan metsissä ja soilla pitempään kuin irtotuhkan, mutta toisaalta rakeistetun tuhkan kasvureaktiotkin saattavat ilmetä hitaammin (ks. Silfverberg 1996).

Tässä tutkimuksessa selvitettiin tuhkalannoituksen erilliskannattavuutta yksityisen metsänomistajan näkökulmasta metsikkötason päätöksenteossa. Tuhkalannoituksen hyötyjä ja haittoja muille osapuolille ei arvioitu. Julkisuudessa on kaavailtu, että metsäteollisuus joutuisi jatkossa maksamaan kunnalliselle kaatopaikalle viedystä tuhkasta jäteveroa jopa 150 mk t⁻¹, mikä merkitsisi toimialalle noin 30 miljoonan markan vuotuisia lisäkustannusta. Kun puutuhka on turvemaiden lannoituksessa kannattava vaihtoehto, tuhka tuotantopaikalta metsään tai pellolle —vaihtoehtoketjujen teknologiaa ja kokonaistaloutta on tarpeen tutkia kustannusten alentamiseksi ja toiminnan kannattavuuden lisäämiseksi. Toisaalta rakeistettuun tuhkaan perustuvaa kenttäkoetointia tarvitaan jatkossa sekä kasvuvaikutusten että toiminnan kannattavuuden selvittämiseksi puustoltaan vaihtelevissa kohteissa.

KIITOKSET

Keski-Pohjanmaan tuhkaprojektin osana tehty tutkimus toteutettiin Metlan Kannuksen, Muhoksen ja Vantaan tulosyksiköissä. Keski-Pohjanmaan maaseutuelinkeinopiiri, Keski-Pohjanmaan ympäristökeskus, UPM-Kymmene konserniin kuuluva Wisaforest Pietarsaareissa sekä Imatran Voiman säätiö ovat tukeneet Kannuksen tuhkaprojektia. Tilastotieteilijä, FM Pekka Leskinen konsultoi puutavaran hintatrendeistä. Metsänhoitopäällikkö Juhani Kokkonen Metsä-

talouden Kehittämiskeskus Tapiosta sekä mp-päällikkö Pertti Laatikainen Keski-Pohjanmaan metsäkeskuksesta neuvoivat tuhkalannoituksen metsänparannustukiasioissa. Keijo Polet, Taina S. Kuokkanen ja Raija Linnainmaa työstivät tutkimuksen kuvamateriaalin. MMT Jyrki Kangas, MMT Jyrki Hytönen, VTM, MH Jukka Aarnio sekä toimituksen valitsevat ennakkotarkastajat tekivät varteen otettuja parannusehdotuksia käsikirjoitukseen. Tohtori Michael Starr Vantaalta tarkasti artikkelin englanninkieliset tekstiosiot. Kaikille edellä mainituille parhaimmat kiitokset.

KIRJALLISUUS

- Aarnio, J., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Veijalainen, H. 1997. Suometsien lannoitus. Teoksessa: Mielikäinen, K. & Riikilä, M. (toim.). Kannattava puuntuotanto, pp. 116–126. Metsälehti Kustannus.
- Ferm, A. & Takalo, S. 1981. Tuhka ja puhdistamoliete — jätteitä vai hyödyksi metsälle. Metsä ja Puu 10–11: 10–12.
- Ferm, A., Hokkanen, T., Moilanen, M. & Issakainen, J. 1992. Effects of wood bark ash on the growth and nutrition of Scots pine afforestation in central Finland. *Plant and Soil* 147: 305–316.
- Hakkila, P. 1986. Recycling of wood and bark ash. A state-of-the-art review for Programme Group C under the IEA Forest Energy Agreement. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 211: 1–44.
- Hakkila, P. (toim.) 1992. Metsäenergia. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 422: 1–51.
- Hakkila, P. 1996. Tuhkan kierrätyksen tekniikka. Kokemuksia Metsäntutkimuslaitoksen levityskokeista 1980-luvulla. Teoksessa: Finér, L., Leinonen, A. & Jauhiainen, J. (toim.). Puun ravinteet tuhkana takaisin metsään? Keski-Suomen ympäristökeskuksen ja Metsäntutkimuslaitoksen järjestämä tutkimusseminaari Jyväskylässä Ympäristökeskus Kammissa 14.3.1996. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 599: 27–31.
- Hakkila, P. & Kalaja, H. 1983. Puu- ja kuorituhkan palauttamisen tekniikka (Summary: The technique of recycling wood and bark ash). *Folia Forestalia* 552: 1–37.
- Hämäläinen, J. & Laakkonen, O. 1983. Turvemaan varttuneiden männiköiden lannoituksen edullisuus (Summary: Profitability of fertilization in mature Scots pine stands on peatland). *Folia Forestalia* 570: 1–32.
- Issakainen, J., Moilanen, M. & Silfverberg, K. 1994. Turvetuhkan vaikutus männyn kasvuun ja ravinnetilaan ojitetuilla rämeillä (Resume: Effects of peat-ash fertilization on drained pine mires). *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 499: 1–22.
- Jacobsson, S. & Ring, E. 1995. Askan åt skogen — deponeringslösning eller markvård? (Recycling of woodash to forests — a solution of a waste problem of soil conservation?) *SkogForsk, Glunten, Uppsala. SkogForsk Resultat* 2: 1–4.
- Kalaja, H. 1986. Tuhkan levittäminen metsätraktorilla. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 230: 1–18.
- Kangas, J., Lauhanen, R. & Store, R. 1996. Kunnostusojitus- vaihtoehtojen vesistövaikutusten asiantuntija-avusteen arviointi ja liittäminen päätösanalyysiin (Summary: Assessing the impacts of ditch network maintenance on water ecosystems on the basis of expert knowledge and integrating the assessments into decision analysis). *Suo* 47: 47–57.
- Keipi, K. 1972. Lannoituskustannukset ja tuottojen käsittely metsänlannoituksen kannattavuuslaskelmissa Norjassa, Ruotsissa ja Suomessa (Summary: The concept of forest fertilization returns in Norway, Sweden and Finland). *Folia Forestalia* 152: 1–38.
- Kostiainen, A. 1996. Tuhkan rakeistus ja pelletointi lannoitteeksi-käytännön mahdollisuudet. *Julkaisussa: Finér, L., Leinonen, A. & Jauhiainen, J. (toim.). Puun ravinteet tuhkana takaisin metsään? Keski-Suomen ympäristökeskuksen ja Metsäntutkimuslaitoksen tutkimusseminaari Jyväskylässä ympäristökeskus Kammissa 14.3.1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 599: 32–34.
- Lauhanen, R. 1996. Ennakkolaskelmia rakeistetun tuhkan kannattavuudesta metsälannoitteena. *Julkaisussa: Finér, L., Leinonen, A. & Jauhiainen, J. (toim.). Puun ravinteet tuhkana takaisin metsään? Keski-Suomen ympäristökeskuksen ja Metsäntutkimuslaitoksen tutkimusseminaari Jyväskylässä ympäristökeskus Kammissa 14.3.1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 599: 38–44.
- Mikkilä, H. & Takamaa, H. (toim.) 1995. Jaakkoin suon koeojitusalue. *Retkeilyopas. Metsäntutkimuslaitos.* 49 pp.
- Palmerberg, B., Ståhl, K. & Widegren-Dafgård, K. 1994. Askäterföningssystem, tekniker och möjligheter. Sydkraft, Nutek, Vattenfall. Rapport 3: 1–44 + 6 liitettä.
- Päivinen, R. 1991. Metsän mittaus. *Tapion taskukirja. Metsäkeskus Tapion julkaisuja.* 21. uudistettu painos, pp. 316–320. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä.
- Rantala, T. & Moilanen, M. 1993. Nuorten suomänniköiden lannoituksen kannattavuus Pohjois-Pohjanmaalla (Summary: Profitability of fertilization of young pine stands in northern Ostrobothnia). *Folia Forestalia* 821: 1–20.
- Sevola, Y. (toim.) 1996. Metsätalostollinen vuosikirja 1996 (Yearbook of forest statistics 1996). *Metsäntutkimuslaitos. SVT, maa- ja metsätalous* 3: 1–352.
- Silfverberg, K. 1988. Tuhkalannoitus. Teoksessa: Ahti, E. (toim.). Soiden käyttö metsänkasvatukseen. *Suontutkimusosasto 60 vuotta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 308: 106–115.
- Silfverberg, K. 1991. Träaska, PK-gödsel och markförbättringsmedel på dränrade tallmyrar (Summary: Wood ash, PK-fertilizer and two soil ameliorating additives on drained pine mires). *Suo* 42: 33–44.
- Silfverberg, K. 1994. Voraussetzung und Ergebnisse der Aschedüngung in Finnland. *Sekundärrohstoff Holzasche. Nachhaltiges Wirtschaften im Zuge der Energiegewinnung aus Biomasse (Secondary Raw Material Wood Ash. Sustainability in the Course of Energy Production from Biomass).* Teoksessa: Obernberger, I. (toim.). *Tagungsband zum Symposium 15. und 16. September*

- 1994, pp. 131–149. Institut für Verfahrenstechnik, Technische Universität Graz.
- Silfverberg, K. 1996. Nutrient status and development of tree stands and vegetation on ash-fertilized drained peatlands in Finland. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 588: 1–27 + 5 osajulkaisua.
- Silfverberg, K. & Hotanen, J.-P. 1989. Puuntuuhkan pitkäaikaisvaikutukset ojitetulla mesotrofisella kalvakkanevalla Pohjois-Pohjanmaalla (Summary: Long-term effects of wood-ash on a drained mesotrophic *Sphagnum papillosum* fen in Oulu district, Finland). *Folia Forestalia* 742: 1–23.
- Silfverberg, K. & Huikari, O. 1985. Tuhkalannoitus metsäojitetuilla turvemailla (Summary: Wood-ash fertilization on drained peatlands). *Folia Forestalia* 633: 1–25.
- Silfverberg, K. & Issakainen, J. 1991. Tuhkalannoituksen vaikutus metsämarjoihin (Summary: Effects of ash fertilization on forest berries). *Folia Forestalia* 769: 1–23.
- Silfverberg, K. & Issakainen, J. 1996. Skogstillväxt på en askgödsblad, nordfinsk kalmыр -40-årigt perspektiv på asktillförsel i praktisk skala (Summary: Forest growth on an ash-fertilized oligotrophic fen in northern Finland). *Suo* 47: 137–139.
- Takalo, S. 1980a. Tuhkan palauttamisen tekniikkaa. *Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian tutkimusosaston moniste*. 3 pp.
- Takalo, S. 1980b. Tuhkan pelletöinnistä myönteisiä tuloksia. *Metsä ja Puu* 8: 25–26.
- Veijalainen, H., Silfverberg, K. & Hytönen, J. 1993. Metsäteollisuuden bioliete ja kivihiilen tuhka raudun-koivun taimien ravinnelähteenä (Summary: Pulp biosludge and coal ash as nutrient sources for silver birch seedlings). *Suo* 44: 63–73.
- Wiheraari, M. 1996. Kierrätettävät tuhkamäärät Suomessa. Julkaisussa: Finer, L., Leinonen, A. & Jauhiainen, J. (toim.). Puun ravinteet tuhkana takaisin metsään? Keski-Suomen ympäristökeskuksen ja Metsäntutkimuslaitoksen tutkimusseminaari Jyväskylässä ympäristökeskus Kammissa 14.3.1996. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 599: 7–8.

SUMMARY

The profitability of wood ash-fertilizing of drained peatland Scots pine stands

The profitability of wood ash-fertilizing of four Scots pine stands on drained peatlands was investigated. The calculations were based on results from field experiments in Vilppula (62°04'N, 24°34'E) and in Muhos (64°51'N, 26°04'E) (Silfverberg & Hotanen 1989, Mikkilä & Takamaa 1995, Silfverberg 1996) (Tables 1 and 2). The calculation periods were 44–56 years, depending on the experiment (Table 3).

In the Vilppula XII and XIII and Leppiniemi experiments, ash-fertilization increased stand productivity by 3.1–12.1 m³ha⁻¹a⁻¹ over 44–56 years. With an interest rate of 3%, the wood ash-fertilization was profitable if the fertilization cost was 200–500 FIM t⁻¹ (i.e. 1 000–8 000 FIM ha⁻¹). The profitability of the ash-fertilization with the 3% interest rate but without subsidies was 2 500–20 300 FIM ha⁻¹, the real internal rates of return being 3.7–9.3% depending on the experiment (Tables 4 and 5).

For the Vilppula XII experiment, wood ash-fertilization at 5 t ha⁻¹ (200 FIM t⁻¹) was a profitable investment with a 5% interest rate, 2 200 FIM ha⁻¹, and the real internal rate of return was 9.3%. If the ash-fertilization cost was 500 FIM t⁻¹, the investment remained profitable.

Ash-fertilization at 5 t ha⁻¹ was profitable at the Vilppula XIII experiment if the price of the fertilization was 200 or 500 FIM t⁻¹ (Table 4). Without subsidies, the real interest rate of return was 5.1–7.2% depending of the fertilization costs (Table 5). The ash-fertilization treatment with 10 t ha⁻¹ was also profitable with an interest rate of 5%, if the costs of the ash were 200 FIM t⁻¹. However, if the costs were 500 FIM t⁻¹, the investment was not profitable (Table 4).

It was only possible to calculate the net present value (FIM ha⁻¹) of the ash-fertilization plus forest drainage treated stand at the Vilppula XX (plot D) experiment because of the absence of an unfertilized control plot. Forest drainage and ash-fertilization of 8 t ha⁻¹ without subsidies resulted in a real internal rate of return of 5.5% if the costs of the ash were 200 FIM t⁻¹. If the costs were 500 mk t⁻¹, the rate was 3.1%.

At the Muhos (Leppiniemi) experiment (ash of 8 t ha⁻¹, fertilizing cost 200 FIM t⁻¹), the investment was profitable (4 500 FIM ha⁻¹) with an interest rate of 5%. With a fertilization cost of 1 600 FIM ha⁻¹ (including 200 FIM t⁻¹ ash) the internal rate of return was 8.9% without subsidies. Using a ash-fertilization treatment of 16 t ha⁻¹,

the growth of the growing stock increased, but the profitability began to decrease in the terms of internal rate of return. The plantation management and state forest improvement subsidy of 30% resulted in an internal interest rate of return of 8.7% (16 t ha⁻¹, costs of 3 200 FIM ha⁻¹, i.e. 200 FIM t⁻¹).

According to a sensitive analysis, the interest rate, the fertilization dose (5–16 t ha⁻¹) and costs, and the stumpage prices affected the profitability of the ash-fertilization treatments. State forest improvement subsidies (30–50%) increased the private profitability of all fertilization treatments (Tables 4 and 5).

Received 17.6.1997, accepted 24.10.1997